

# プローブデータから得られる負荷率情報を用いた動的な交通信号制御手法の有効性検証

坂井 仁紀<sup>1</sup>・高田 啓介<sup>2</sup>・坪田 隆宏<sup>3</sup>・吉井 稔雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

E-mail: sakai.masaki.19@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

E-mail: takata.keisuke.18@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 愛媛大学講師 理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

E-mail: t.tsubota@cee.ehime-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 愛媛大学教授 理工学研究科 (〒790-8577 松山市文京町 3)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

交通管制システム機能の 1 つである信号制御では、交差点流入部に設置された車両感知器の計測情報に基づいて、交通状況に応じた通行権の配分を行っている。しかし、車両感知器の設置や維持には多大なコストを要する為、車両感知器を与件としない新たな観測技術に基づく制御方式の実現が求められている。このような背景を踏まえ、本研究ではプローブデータから得られる情報のみに基づく信号制御手法の構築を目指す。特に、先詰まり渋滞発生時において有効な制御方式を提案し、有効性を検証する。実道路網を模したシミュレーション環境下での検証を実施した結果、先詰まり対応制御の総旅行時間が定周期制御よりも短くなっていたことが明らかとなった。今後は、先詰まり以外のあらゆる交通状況下での有効性検証を実施する。

**Key Words:** *Traffic Simulation, Load Factor Information, Signal Control, Probe data*

## 1. はじめに

近年、わが国の道路交通環境は自動車保有台数、運転免許保有者数の増加を背景とし、都市地域において慢性的な交通渋滞を引き起こしている<sup>1)</sup>。このような交通状況を解消するために、円滑かつ安全な交通流の確保を目指す信号制御を行う必要がある。

そこで、日本では、1990 年代半ばに MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization) 制御が開発された。

MODERATO 制御は<sup>2)</sup>、プログラム形成制御と呼ばれ、車両感知器の計測情報に基づいて、交通状況に応じた信号制御パラメータ (サイクル長、スプリット、オフセット) を算出し、通行権を配分している。

問題として、車両感知器の設置や維持には多大なコストを要するため、車両感知器を与件としない新たな観測技術に基づく制御方式の実現が求められている。このような背景を踏まえ、吉岡らは<sup>3)</sup>、プローブデータ

から得られる遅れ時間情報に基づいて負荷率情報を評価し、従来の車両感知器情報に基づくものと同等の精度で算出し得ることを確認した上で、信号制御への適用可能性を示した。

そこで本研究では、プローブデータから算出される負荷率情報に基づく動的な信号制御の有効性を検証する。特に、先詰まり渋滞発生時において有効な制御方式を提案し、有効性を検証する。

## 2. 方法論

### (1) 負荷率の概要

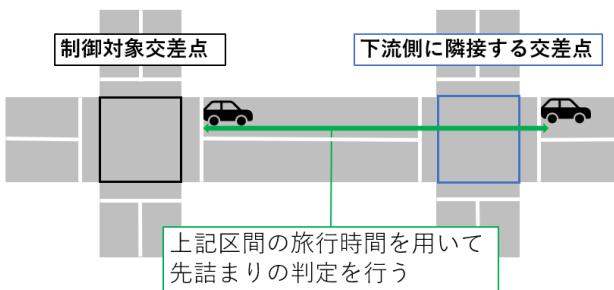
本研究では、プローブデータから計測される遅れ時間情報を用いてアプローチごとの負荷率を算出し、その値に応じて青時間を動的に配分する制御を目指す。負荷率とは飽和交通流率に対する交通需要の比率を表す指標であり<sup>4)</sup>、負荷率が高いアプローチに青時間を多

く配分することで、効率的に車両を通過させることが可能となる。しかし、下流側のボトルネックから延伸した渋滞が上流の交差点からの流出を妨げる場合、すなわち先詰まり渋滞発生時においては、先詰まりの影響を受ける方向の交通流は滞ることになり、青時間を有効に活用することができない。この場合においては、負荷率に比例した青時間の配分が必ずしも有効とは限らず、負荷率の低い交差方向の交通に対して、多くの青時間を与えることが効率的となる可能性が考えられる。すなわち先詰まりが発生した場合においては、負荷率に逆比例するように青時間を配分することが適切であると考えられる。

## (2) 負荷率算出方法

負荷率の算出においては<sup>2)</sup>、最初に式(1)に示す車両 1 台当たりの遅れ時間を算出する。次に式(2)、式(3)に示す負荷率 $\rho$ を算出する。式(2)は非飽和状態、すなわち捌け残りが生じていない状態に対応し、式(3)は過飽和状態、すなわち捌け残りが生じている状態に対応する。 $T_{probe}$ はプローブ旅行時間、 $L$ はリンク長、 $V$ は規制速度、 $C$ はサイクル長、 $R$ は赤信号表示時間を表す。次サイクルにおける青時間は、算出されたアプローチごとの負荷率に応じて比例配分することにより決定する。なお、サイクル長は一定とする。

次に先詰まり渋滞発生時の制御について説明する。図-1 に示すとおり制御対象交差点に隣接する下流側のリンクの旅行時間、すなわち図-1 において緑矢印で示される区間での旅行時間の閾値を設定し、閾値を超える場合に先詰まり渋滞が発生しているものと判定する。そして、その条件を満たす場合においては、負荷率に対して青時間を逆比例配分するように制御する。閾値の設定については3章のシミュレーション概要で後述する。



## (3) 想定される結果

ここまでで説明した負荷率に基づく信号制御について、想定される結果を説明する。先詰まりが発生していない場合は、負荷率に応じて青時間を比例配分する。

すなわち、負荷率が高いアプローチに対しては、定周期制御時と比較して青時間を多く配分するため、同アプローチの旅行時間は短くなり、一方、負荷率が低いアプローチにおいては定周期制御時と同程度の旅行時間が得られると考えられる。

先詰まり発生時は、負荷率に応じて青時間を逆比例配分する。従って、負荷率が低いアプローチに対して青時間を多く配分することになり、同アプローチにおいては定周期制御時と比較して旅行時間が短くなる。逆に、負荷率が高いアプローチに対しては、定周期制御時と比較して青時間の配分が減少するが、旅行時間への影響は軽微なものであると想定される。先詰まり発生時においては、負荷率が高いアプローチにおいては下流から延伸してきた渋滞の影響で車両の流出が滞る状態になっているため、青時間を有効活用できていない状態であるからである。

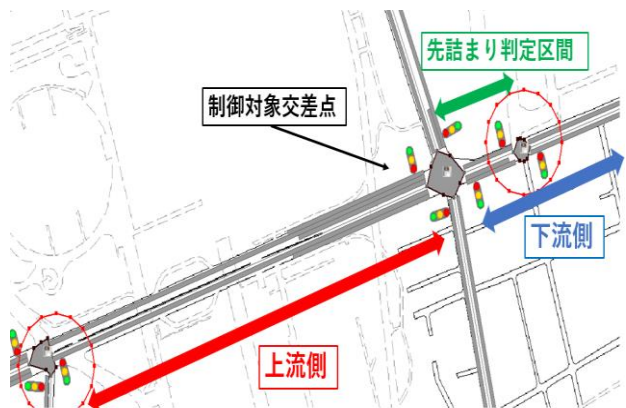
## 3. シミュレーション概要

図-2で示す東京都世田谷区駒沢通りの東京医療センター前を制御対象交差点とし、負荷率を用いて信号制御を行う。サイクル長は全ての交差点で60秒とした。東西と南北の青時間の合計は48秒である。図-3に示すように、現示1が東西方向で現示2が南北方向である。飽和交通流率を1800(台/青1時間)とし、表-1に示すように交通量(台/時)を設定した。

$$w = T_{probe} - \left\{ \frac{L}{\frac{V}{3.6}} \right\} \quad (1)$$

$$\rho = 1 - \frac{R^2}{2 \cdot w \cdot C} \quad (2)$$

$$\rho = \left( 1 - \frac{R}{C} \right) \cdot \left\{ 1 + \frac{\left( w - \frac{R}{2} \right)}{R} \right\} \quad (3)$$



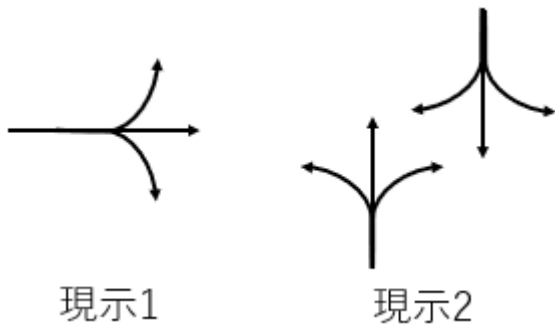


図-3 制御対象交差点の現示

表-1 交通流率(台/時)

	0分	10分	20分	30分	40分~
東西方向	330	450	570	570	1080
南北方向	90	150	180	180	360

本研究での先詰まりを判定する区間の旅行時間の推移を図-4に示す。図-4より、先詰まりが発生した時間帯での旅行時間は35秒を上回っていた。また、シミュレーションにおいても同じ経過時刻で先詰まりが発生していることが確認出来た。よって、本シミュレーションでは、先詰まり判定に用いる閾値を35秒と設定する。

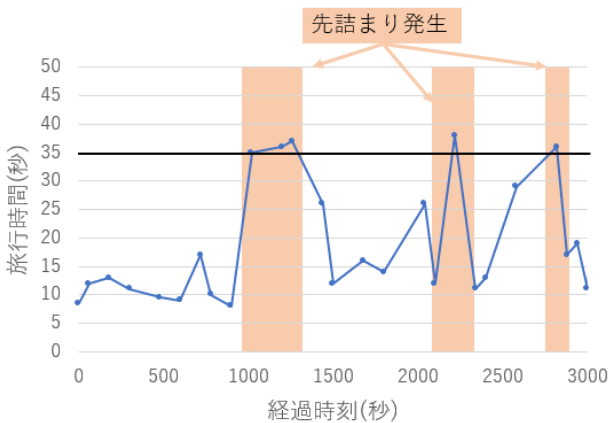


図-4 先詰まり判定閾値

#### 4. 評価条件

本研究での評価条件として、3つの条件で実験を行う。条件1は定周期制御を行い、負荷率による制御を行わず、青時間は常に東西と南北で 5 : 5 に配分される。条件 2 は、先詰まり対応制御を行い、通常時は比例配分、先詰まりが発生した場合にのみ逆比例配分する。条件 3 は、比例配分制御を行い、常に負荷率の値に応じて青

時間を配分する。

#### 5. 結果

##### (1) 西アプローチ

図-5 に西アプローチにおける旅行時間の推移を示す。横軸に経過時刻(秒)、縦軸に旅行時間(秒)を表す。オレンジの折れ線グラフに定周期制御、緑の折れ線グラフに先詰まり対応制御、青の折れ線グラフに比例配分制御を示す。

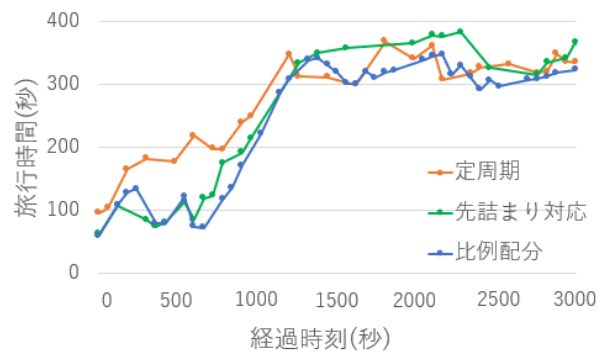


図-5 西アプローチ旅行時間

図-5 より、800 秒付近で東西方向に先詰まりが発生した。先詰まり発生前では、先詰まり対応制御、比例配分制御の旅行時間が定周期制御に比べて短くなっている。これは、南北方向に比べて東西方向の需要が高く、東西方向の負荷率が高くなるため、青時間の配分が南北方向に比べて多く配分されるからであると考えられる。

先詰まり発生後では、3 条件での旅行時間があまり変わらなくなっている。これは、先詰まり渋滞発生時には、先詰まりの影響を受ける方向の交通流は滞ることになり、青時間を有効に活用することができないからであると考えられる。

##### (2) 南北アプローチ

図-6に北アプローチ、図-7に南アプローチにおける旅行時間の推移を示す。

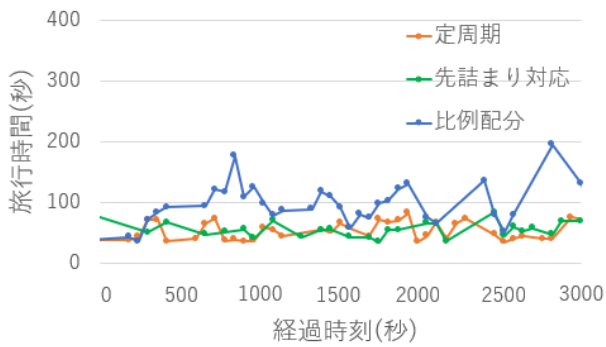


図-6 北アプローチ旅行時間

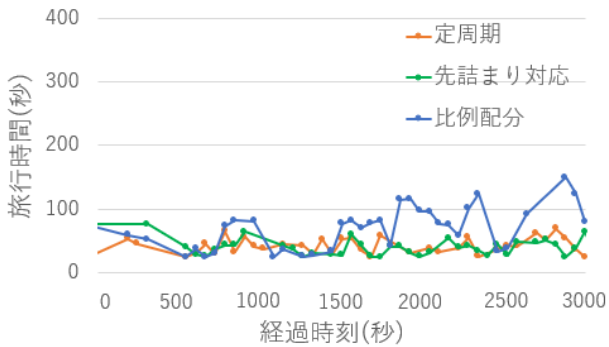


図-7 南アプローチ旅行時間

図-6、図-7より、先詰まり発生前では、3条件で旅行時間があまり変わらなかった。先詰まり発生後の1000~1500秒付近で先詰まり対応制御の旅行時間が定周期制御に比べて短くなっていた。一方、比例配分制御の旅行時間は、定周期制御に比べて長くなっていた。これは、逆比例配分により負荷率が低い方向に青時間が多く配分されるようになるが、比例配分制御では、東西方向に青時間を有効に活用することができないからであると考えられる。

### (3) 総旅行時間比較

図-8にネットワーク内、図-9に制御対象交差点内の総旅行時間を示す。総旅行時間の比較には、表-2に示すプローブ車台数を用いた。ネットワーク内総旅行時間とは、プローブ車がそれぞれのリンクを通過するのに要した全ての時間を合計したものである。制御対象交差点内総旅行時間とは、プローブ車が対象とした東京医療センター前の交差点の4方向でのリンクを通過するのに要した全ての時間を合計したものである。横軸に各パターン、縦軸に総旅行時間(分)を示す。オレンジの棒グラフに定周期制御、緑の棒グラフに先詰まり対応制御、青の棒グラフに比例配分制御を示す。

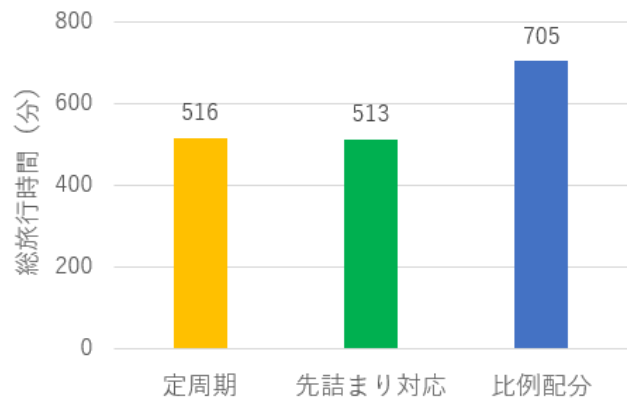


図-8 ネットワーク内総旅行時間

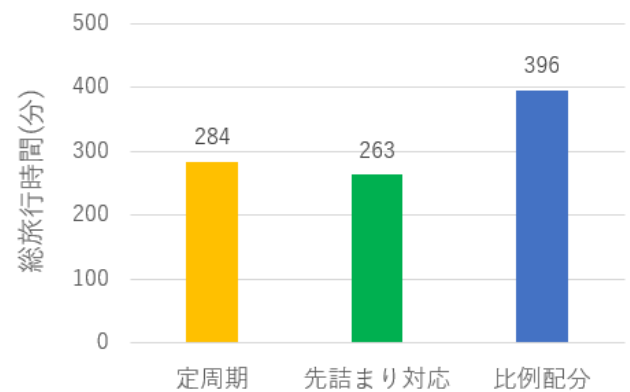


図-9 制御対象交差点内総旅行時間

表-2 使用したプローブ車台数

	ネットワーク	制御対象交差点内
定周期	504	159
先詰まり対応	494	152
比例配分	569	169

図-8より、ネットワーク内の総旅行時間では、定周期制御が516分、先詰まり対応制御が513分、比例配分制御が705分と比例配分制御の総旅行時間が大幅に長くなっていた。

図-9より、制御対象交差点内の総旅行時間では、定周期制御が284分、先詰まり対応制御が263分、比例配分制御が396分と比例配分制御が1番長く、先詰まり対応制御が1番短くなっていることがわかった。比例配分制御が1番長くなった要因として、先詰まりが発生しても東西方向の青時間を有効に活用することができず、南北方向に渋滞が発生したからであると考えられる。先詰まりを考慮した先詰まり対応制御の総旅行時間が1番短くなっていたことにより、プローブデータから算出される負荷率情報に基づいて、動的な信号制御ができていたと考えられる。

謝辞：本研究のデータはアイ・トランスポート・ラボ株式会社より提供いただいた。ここに謝意を表す。

## 6. 結論と今後の予定

本研究では、プローブデータから算出される負荷率情報に基づく動的な信号制御の有効性を検証し、特に、先詰まり渋滞発生時において有効な制御方式を提案し、有効性を検証した。比例配分により負荷率が高い方向に青信号を多く割り当てることができ、東西アプローチでは旅行時間が定周期制御よりも短くなることがわかった。先詰まり渋滞発生時に逆比例配分を行うと、南北アプローチでは旅行時間が定周期よりも短くなった。定周期制御に比べて先詰まり対応制御の総旅行時間が短くなっていることから動的な信号制御の有効性が検証された。今後は、先詰まり以外のあらゆる交通状況下での有効性検証を実施する。

### 参考文献

- 1) 織田利彦：重要交差点における交通信号最適化制御手法，システム制御情報学会論文誌,Vol.9,No.11,pp.520-530
- 2) 吉岡利也,榊原肇,テンハーゲンロビン,ローコウスキステファン,大口敬：プローブカーデータを用いて信号制御パラメータ算出方法,生産研究 74 巻 1 号,2022

Validation of a dynamic traffic signal control method using load factor information obtained from probe data

Masaki SAKAI, Keisuke TAKATA, Takahiro TSUBOTA, Toshio YOSHII

In this study, the effectiveness of dynamic signal control based on load factor information calculated from probe data was verified. In particular, an effective control scheme was proposed and validated for use in the occurrence of first-choke congestion. It was found that the proportional allocation can allocate more green lights in the direction of higher load factor, and that the travel time is shorter than that of the fixed-cycle control in the east-west approach. When inverse proportional allocation was applied at the onset of a deadlock, travel time was shorter for the north-south approach than for the fixed-cycle approach. The effectiveness of dynamic signal control was verified by the fact that the total travel time of the first-jamming response control was shorter than that of the fixed-cycle control.